

# Sistem Kontrol Pencahayaan Matahari pada Aquascape

Muhamad Hasri Pramadana, Muhammad Rivai, dan Harris Pirngadi  
 Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail: muhammad\_rivai@ee.its.ac.id*

**Abstrak**—Aquascape adalah seni dalam mengatur dan menata tanaman air, bebatuan, ataupun kayu untuk memperindah sebuah akuarium. Dengan adanya tanaman serta biota laut tentunya dibutuhkan cahaya matahari untuk keberlangsungan hidup. Umumnya untuk mengatasi hal tersebut dengan menggunakan cahaya buatan sebagai pengganti cahaya matahari. Penggunaan cahaya buatan tentu tidak sama dengan cahaya matahari langsung. Cahaya matahari berperan dalam proses fotosintesis untuk pertumbuhan setiap organ dan keseluruhan tumbuhan. Tanaman yang kekurangan cahaya matahari akan mengalami gejala etiolasi. Penelitian ini dilakukan untuk membuat sistem kontrol pencahayaan matahari yang akan digunakan untuk menerangi *aquascape*. Sistem yang dirancang menggunakan lensa Fresnel sebagai pengumpul cahaya dan serat optik untuk menyalurkan cahaya. Dengan menggunakan photodiode sebagai pengukur intensitas cahaya matahari, sistem kontrol pencahayaan matahari dapat mengukur parameter masukan yang digunakan dalam sistem. Dalam sistem ini, jenis kontroler yang digunakan adalah proportional integral derivative (PID) dan komparator. Kontroler PID digunakan sebagai masukan komparator. Berdasarkan nilai PID, komparator akan menentukan respon dari sistem. Hasil dari komparator diteruskan ke aktuator berupa motor servo untuk mengatur posisi dari lensa Fresnel. Proses pengukuran dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengikuti arah cahaya matahari dengan rerata eror sudut sebesar 12%. Serat optik dapat menyalurkan cahaya matahari dengan rerata efisiensi sebesar 12,6%.

**Kata Kunci**—Aquascape, Lensa Fresnel, Serat Optik.

## I. PENDAHULUAN

SAAT ini akuarium menjadi sebuah tempat yang praktis dan mudah yang banyak disukai oleh penghobi ikan hias. Ikan hias yang diletakkan dalam akuarium tentunya menjadi sebuah hiburan tersendiri. Untuk mempercantik keindahan akuarium tentunya perlu menata sedemikian rupa akuarium tersebut. *Aquascape* merupakan suatu seni dalam mengatur dan menata sebuah akuarium sehingga menciptakan sebuah lingkungan seperti pemandangan bawah air. Lingkungan tersebut dapat berupa tanaman air, pasir, karang, kayu, bebatuan, maupun kombinasinya yang dapat memunculkan sebuah lingkungan yang menyerupai pemandangan bawah air [1].

*Aquascape* umumnya diletakkan di dalam ruangan dimana ruangan tersebut tidak terkena cahaya matahari langsung. Pencahayaan untuk proses *aquascape* idealnya 7 sampai dengan 8 jam per hari. Umumnya digunakan cahaya buatan untuk menerangi *aquascape*. Penggunaan cahaya buatan tentu tidak sama dengan cahaya matahari langsung, dan juga memerlukan biaya yang tidak murah. Cahaya matahari sangat penting bagi tumbuhan berklorofil karena berperan dalam



Gambar 1. Bibit tanaman jeruk Huangguogan yang terkena etiolasi.

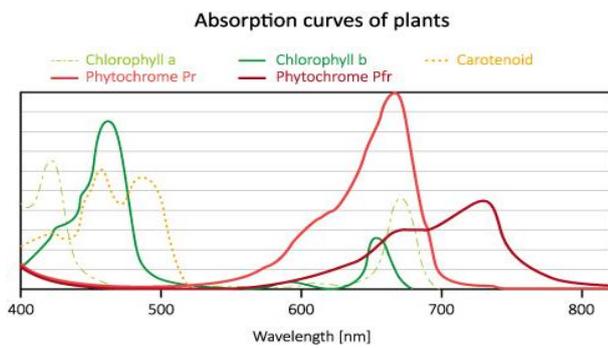


Gambar 2. Contoh sebuah *aquascape* dengan tema “Jungle Style”.

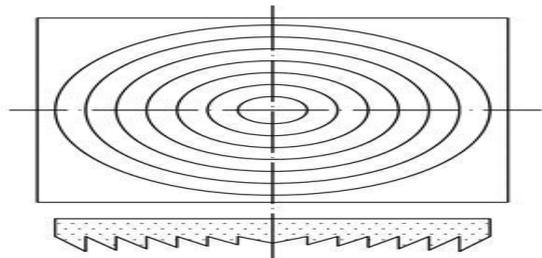
proses fotosintesis. Akan tetapi tidak semua energi cahaya matahari dapat diserap oleh tanaman. Hanya cahaya tampak saja yang dapat berpengaruh pada tanaman dalam proses fotosintesis, yang disebut dengan PAR (*Photosynthetic Activity Radiation*) dan mempunyai panjang gelombang 400 nm sampai 700 nm [2].

Kekurangan cahaya matahari akan mengganggu proses fotosintesis dan pertumbuhan, meskipun kebutuhan cahaya tergantung pada jenis tumbuhan. Tumbuhan yang kekurangan cahaya saat perkembangan berlangsung akan tumbuh memanjang, kurus, dan pucat [3]. Gejala tersebut disebut dengan etiolasi seperti terlihat pada Gambar 1 [4]. Selain berpengaruh pada pertumbuhan tanaman, cahaya dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Tumbuhan yang tidak terkena cahaya tidak dapat membentuk klorofil sehingga daun menjadi pucat. Akan tetapi, jika intensitas cahaya terlalu tinggi, klorofil akan rusak.

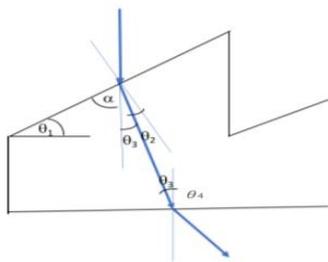
Oleh karena itu, dibuatlah suatu sistem kontrol yang dapat menyalurkan cahaya matahari secara langsung. Untuk mengumpulkan cahaya matahari yang diperlukan, digunakan lensa Fresnel yang dapat meningkatkan efisiensi dalam



Gambar 3. Penyerapan panjang gelombang cahaya pada berbagai pigmen tanaman.



Gambar 4. Bentuk permukaan lensa Fresnel.



Gambar 5. Pembiasan cahaya pada lensa Fresnel.

pengumpulan sinar matahari [5]. Sistem ini juga dapat mengatur seberapa banyaknya intensitas cahaya matahari yang diperlukan dengan menggunakan sensor photodiode sebagai masukan untuk kontroler. Dengan besar intensitas cahaya matahari yang telah disesuaikan, diharapkan sistem kontrol ini dapat membantu dalam mengurangi konsumsi daya yang digunakan dan juga mengoptimalkan pertumbuhan tanaman pada *aquascape*.

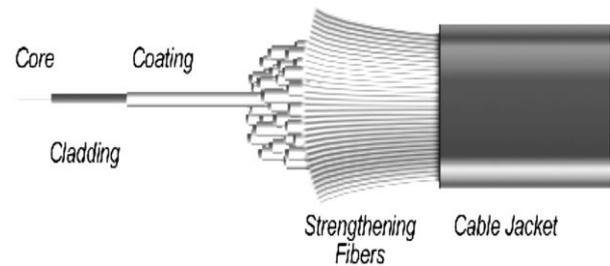
## II. DASAR TEORI

### A. Aquascape

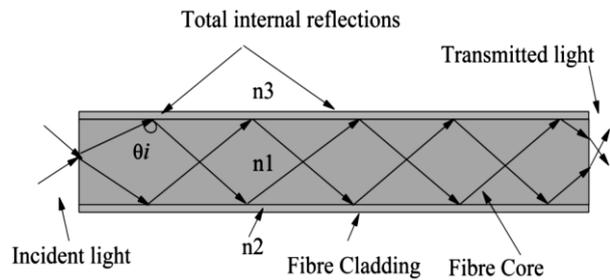
*Aquascape* adalah seni dalam mengatur dan menata tanaman air, bebatuan, ataupun kayu untuk memperindah sebuah akuarium [1], seperti pada Gambar 2. Berbagai jenis pencahayaan dapat digunakan untuk menghasilkan spektrum cahaya penuh, biasanya dengan daya 2-4 Watt/gallon (0,5-1 Watt/L). Lampu yang digunakan biasanya dikendalikan oleh pengatur waktu yang diatur menyesuaikan dengan kebutuhan tanaman, yaitu sekitar 10 – 12 jam [6]. Bibit tanaman jeruk Huangguogan yang terkena etiolasi dapat dilihat pada Gambar 1. Contoh sebuah aquascape dengan tema “Jungle Style” dapat dilihat pada Gambar 2 [7]. Penyerapan panjang gelombang cahaya pada berbagai pigmen tanaman dapat dilihat pada Gambar 3.

### B. Intensitas Cahaya Matahari pada Fotosintesis

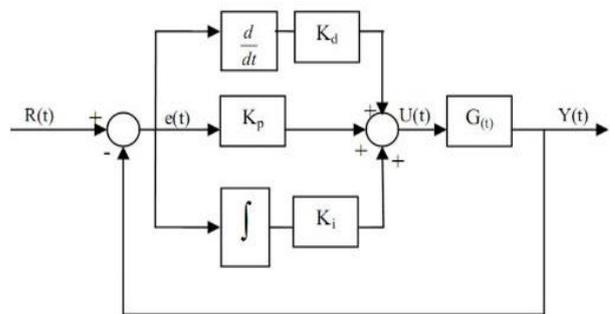
Intensitas cahaya matahari adalah banyaknya energi yang



Gambar 6. Struktur Serat Optik.



Gambar 7. Pembiasan dalam total pada sebuah serat optik.



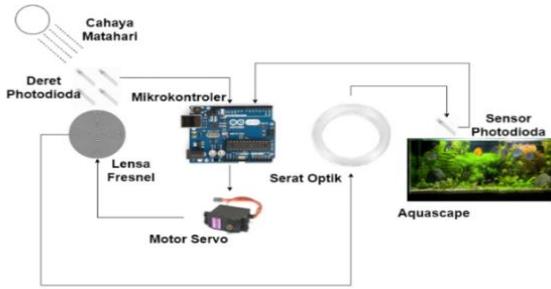
Gambar 8. Diagram blok PID.

diterima pada luasan dan jangka waktu tertentu. Besar intensitas dapat diukur dengan menggunakan alat lux meter. Hanya cahaya dengan panjang gelombang antara 400 – 700 nm, yang disebut dengan PAR (*Photosynthetic Activity Radiation*) yang memiliki energi yang cocok untuk fotosintesis diperlihatkan pada Gambar 3. Pigmen tanaman menyerap PAR terbaik pada panjang gelombang tertentu seperti klorofil a (420 nm dan 660 nm), klorofil b (440 nm dan 640 nm), dan karotenoid termasuk xantofil (425 nm dan 470 nm).

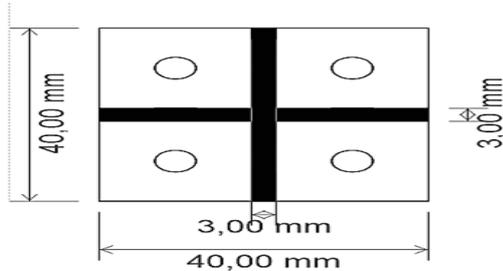
Kekurangan cahaya matahari akan mengganggu proses fotosintesis dan pertumbuhan, meskipun kebutuhan cahaya tergantung pada jenis tumbuhan. Tumbuhan yang kekurangan cahaya saat perkembangan berlangsung akan tumbuh memanjang, kurus, dan pucat [3]. Gejala tersebut disebut dengan etiolasi.

### C. Lensa Fresnel

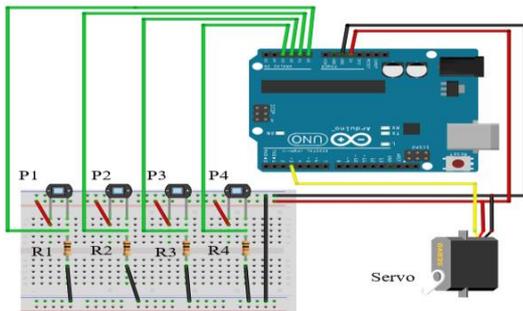
Lensa Fresnel memiliki sifat khusus untuk memfokuskan sinar yang masuk yang tegak lurus ke permukaannya ke satu titik, yang dikenal sebagai titik fokus [8]. Rancangan lensa Fresnel lebih fleksibel dan dapat menghasilkan kerapatan fluks yang seragam pada penerima [9]. Dengan desain dan produksi permukaan lensa yang presisi dapat menghasilkan efisiensi optik untuk penangkapan sinar matahari hingga 96,06 % [10]. Jenis lensa Fresnel secara geometri tersusun dalam bentuk melingkar yang berbentuk prisma dengan sudut kemiringan tertentu untuk membentuk titik fokus seperti Gambar 4. Lensa Fresnel berbahan plastik yang terkenal



Gambar 9. Skema sistem keseluruhan.



Gambar 10. Rancangan rangka deret photodioda.



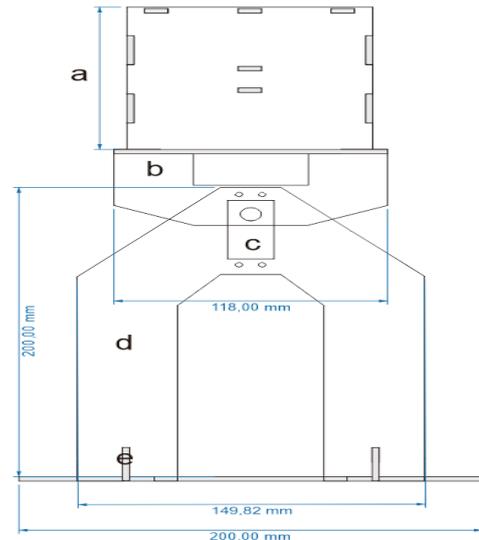
Gambar 11. Diagram koneksi sistem pelacak matahari.

adalah dari bahan PMMA (*polymethylmethacrylate*) yang memiliki sifat tahan terhadap sinar matahari, menghasilkan suhu yang stabil hingga temperatur paling kurang 80°C, transmissivitas spektrum matahari yang bagus dan mempunyai indeks refraksi 1,49 yang mendekati dari bahan kaca [11]. Ketika sinar akan keluar dari lensa, sinar akan mengalami pembiasan sehingga jatuh di titik fokus seperti Gambar 5 [12].

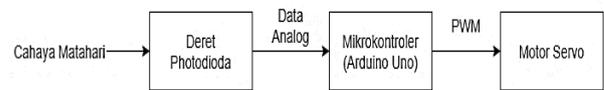
**D. Serat Optik**

Serat optik merupakan suatu media transmisi yang terbuat dari bahan kaca atau plastik yang memiliki keandalan dan kelebihan dibandingkan media transmisi kabel tembaga dan kabel coaxial [13]. Serat optik terdiri dari tiga bagian utama yaitu *core*, *cladding* dan *coating* seperti pada Gambar 6. *Core* memiliki indeks bias yang lebih besar daripada *cladding* ( $n_1 > n_2$ ) hingga pada sudut kritis, sehingga memungkinkan terjadinya pembiasan dalam total (*total internal reflection*). *Coating (jacket)* berfungsi sebagai pelindung *core* dan *cladding* dari tekanan fisik luar, terbuat dari bahan plastik yang sangat berkualitas.

Prinsip penyaluran cahaya di sepanjang serat optik didasarkan pada pembiasan dalam total digambarkan seperti Gambar 7. Sudut dimana pembiasan dalam total terjadi disebut sudut kritis kejadian. Jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis, cahaya yang datang akan dipantulkan kembali. Sudut kritis kejadian ditentukan dengan



Gambar 12. Rancangan kolektor surya.



Gambar 13. Diagram blok pelacak matahari.

menggunakan hukum Snellius [14].

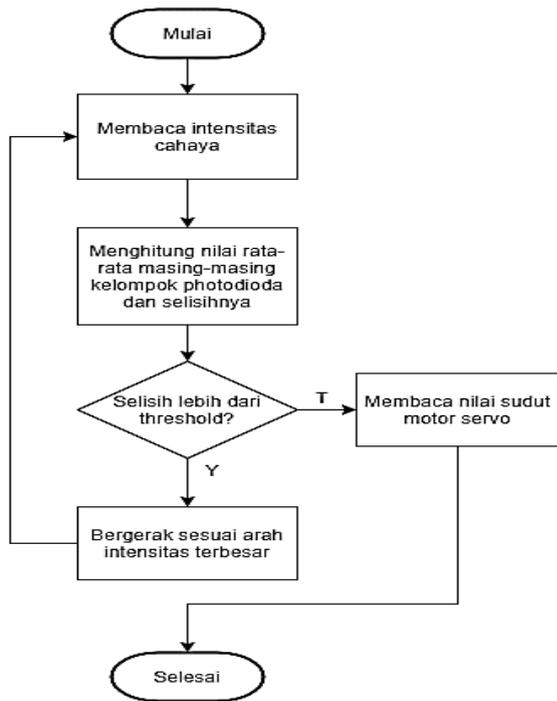
Untuk sudut datang dengan besar sudut  $\theta > \theta_c$ , sinar tidak akan dibiaskan ke dalam *cladding*, sehingga seluruh sinar akan merambat dalam *core* hingga ujung serat. Jumlah total mode sinar yang dapat digabungkan didefinisikan sebagai *Numerical Aperture (NA)* [15], yang menyatakan hubungan antara sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium (udara, *core* dan *cladding*) yang dinyatakan dengan persamaan (1) :

$$NA = n_0 \sin \theta_{i,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{1}$$

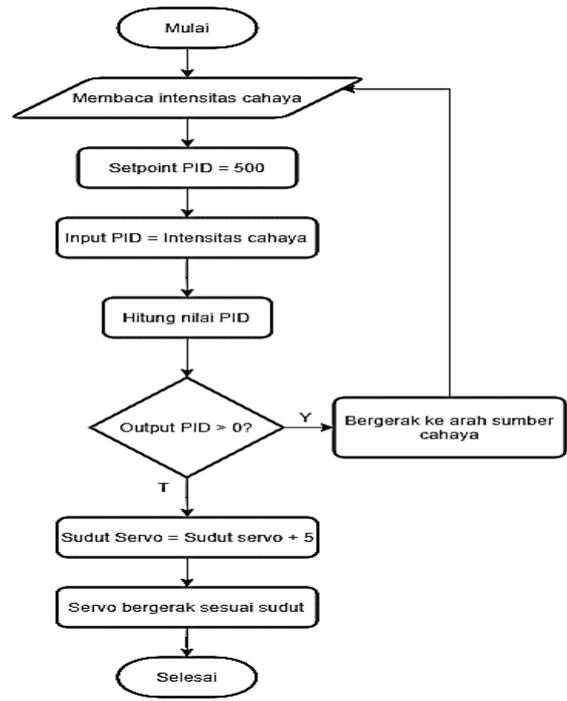
dengan indeks bias  $n_0$  (udara),  $n_1$  (*core*) dan  $n_2$  (*cladding*). Struktur serat optic dapat dilihat pada Gambar 6 [14]. Pembiasan dalam total pada sebuah serat optik dapat dilihat pada Gambar 7 [16]. Diagram blok PID dapat dilihat pada Gambar 8 [17].

**E. PID**

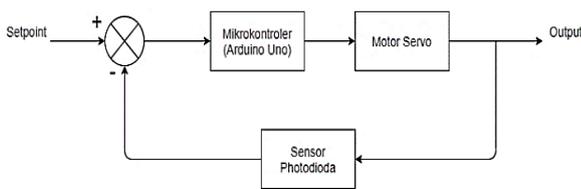
Sistem Kontrol PID (Proportional-Integratif-Derivative) merupakan suatu kontroler yang berfungsi untuk membuat sistem instrumentasi lebih presisi dengan adanya umpan balik pada sistem tersebut (feed back) [18]. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah komponen yaitu kontrol P (Proportional), I (Integral), dan D (Derivative) yang memiliki fungsi masing-masing [19]. Penerapan ketiga komponen tergantung pada respon sistem yang dikehendaki [20]. Masing-masing komponen PID dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya seperti kontrol P, kontrol PI, dan kontrol PID. Gabungan dari masing-masing komponen akan menghasilkan keluaran kontrol yang sebanding dengan nilai eror sehingga diperoleh nilai steady state [21]. Diagram blok sistem yang menggunakan kontrolir PID dapat dilihat pada Gambar 8. Sistem kontrol PID dapat dituliskan dalam persamaan matematika seperti pada persamaan (2):



Gambar 16. Flowchart pelacak matahari.



Gambar 14. Flowchart sistem kontrol.



Gambar 17. Diagram blok PID pada sistem.

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Kd \cdot \frac{d}{dt}e(t) + Ki \int e(t)dt \quad (2)$$

dimana  $u(t)$  keluaran dari kontrol PID,  $e(t)$  selisih antara setpoint dengan keluaran sistem,  $Kp$  konstanta Proporsional,  $Kd$  konstanta Derivatif, dan  $Ki$  konstanta Integral.

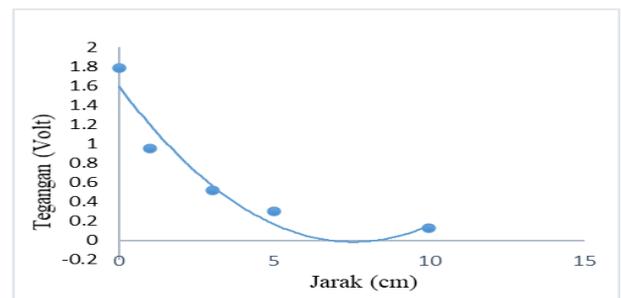
### III. PERANCANGAN SISTEM

#### A. Gambaran Umum Sistem

Alat ini dirancang bertujuan untuk menyalurkan cahaya matahari ke *aquascape*. Terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian kolektor surya yang terintegrasi dengan pelacak matahari dengan lensa Fresnel, dan bagian kontroler. Deret photodiode yang ditempatkan pada bagian kolektor surya digunakan untuk membaca nilai intensitas cahaya yang diterima pada masing-masing photodiode. Lensa Fresnel digunakan untuk menangkap cahaya matahari yang akan disalurkan melalui serat optik. Sensor photodiode pada ujung serat optik digunakan untuk mengukur besar intensitas cahaya yang diterima pada *aquascape*. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai pengolah data masukan dan keluaran serta sebagai pemroses kontrol PID. Motor servo digunakan untuk menggerakkan lensa Fresnel agar sesuai dengan arah datangnya cahaya matahari. Skema keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 9.

#### B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras yaitu membuat keseluruhan



Gambar 15. Grafik besar tegangan photodiode terhadap jarak sumber cahaya.

sistem yang dimulai dari perancangan kerangka alat, penempatan sensor, hingga pengkabelan masing-masing komponen.

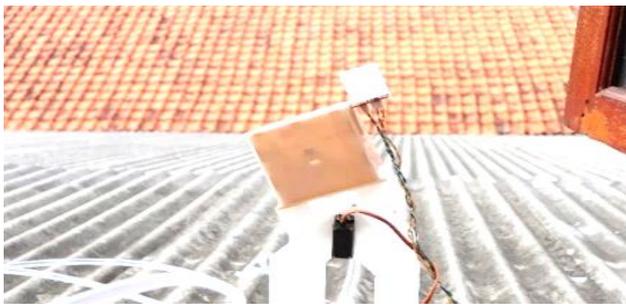
#### 1) Perancangan Pelacak Matahari

Pelacak matahari akan memeriksa posisi arah datangnya cahaya matahari dengan membandingkan nilai intensitas cahaya yang diterima oleh deret photodiode. Deret photodiode yang berjumlah empat buah masing-masing akan ditempatkan pada rangka yang menempel pada bagian kolektor surya dengan rancangan seperti pada Gambar 10.

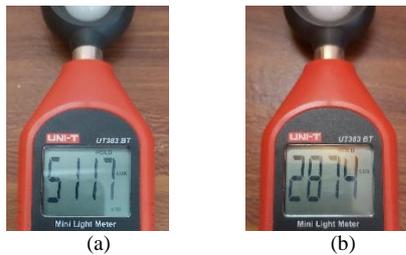
Bagian pelacak matahari terdiri dari deret photodiode, resistor 10k ohm, mikrokontroler, dan motor servo yang dirangkai seperti Gambar 11. Photodiode dan resistor membentuk rangkaian pembagi tegangan yang dirancang agar nilai keluaran berubah sesuai dengan nilai photodiode dengan memberikan tegangan pada resistor.

#### 2) Perancangan Kolektor Surya

Bagian kolektor surya merupakan bagian yang berfungsi untuk menangkap cahaya matahari. Rangka terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 3mm. Terdapat beberapa bagian pada rangka utama seperti terlihat pada Gambar 12, yaitu (a) rangka kolektor surya bagian atas untuk meletakkan lensa fresnel, serat optik dan pelacak matahari, (b) penyangga



Gambar 18. Pengujian arah cahaya matahari.



Gambar 19. Perbandingan pengukuran intensitas pada: (a) sumber cahaya, dan (b) ujung serat optik.



Gambar 20. Penyinaran pada aquascape.

kolektor surya, (c) tempat meletakkan motor servo, (d) penyangga bagian bawah, dan (e) penguat pijakan dari rangka bawah. Pada ujung serat optik terdapat sebuah sensor photodiode dengan rangkaian pembagi tegangan yang akan berfungsi untuk mengukur besar intensitas cahaya yang diterima pada aquascape.

C. Perancangan Perangkat Lunak

1) Perancangan Pelacak Matahari

Sistem pelacak matahari diimplementasikan pada bagian kolektor sinar matahari yang akan bergerak dengan satu axis yaitu dari timur ke barat. Deret photodiode yang ditempatkan pada bagian kolektor surya akan membaca nilai intensitas cahaya yang diterima pada masing-masing photodiode dan akan dikirim ke pin mikrokontroler Arduino Uno sesuai pada Gambar 13, yang akan diubah menjadi data digital menggunakan *analog-to-digital converter* (ADC) pada mikrokontroler untuk dihitung rata-rata dan nilai selisihnya. Apabila nilai selisihnya lebih dari threshold, mikrokontroler akan menggerakkan motor servo sehingga menuju arah datangnya cahaya matahari. Jika nilai selisihnya kurang dari threshold maka motor servo tidak bergerak dan sudut dari motor servo akan disimpan. Algoritma pelacakan matahari ditampilkan dengan flowchart pada Gambar 14. Apabila nilai rata-rata dari kelompok photodiode timur lebih besar barat maka pelacak akan bergerak ke timur, dan juga sebaliknya.

Tabel 1. Hasil pengujian photodiode

Jarak Sumber Cahaya (cm)	Intensitas Cahaya (lux)	Tegangan Photodiode (volt)
0	12670	1,79
1	5940	0,95
3	3468	0,52
5	2257	0,3
10	1485	0,13

Tabel 2. Hasil pengujian sudut servo.

Sudut (°)	Sudut Servo (°)				
	P1	P2	P3	P4	P5
30	16	13	17	22	19
45	35	27	43	44	39
60	56	54	48	60	53
90	88	85	82	87	86
120	105	109	119	118	114
135	129	126	131	137	132
150	153	158	154	144	149

Tabel 3. Nilai rata-rata error pada setiap sudut.

Sudut (°)	Error Sudut Servo (°)					Rerata Error (%)
	P1	P2	P3	P4	P5	
30	14	17	13	8	11	42
45	10	18	2	1	6	16,44
60	4	6	12	0	7	9,67
90	2	5	8	3	4	4,89
120	15	11	1	2	6	5,83
135	6	9	4	2	3	2,96
150	3	8	4	6	1	1,06

2) Perancangan Sistem Kontrol

Kontroler yang digunakan untuk mengendalikan besar intensitas cahaya yang diterima oleh aquascape yaitu kontroler PID dan komparator. Kontroler PID digunakan untuk menentukan respon dan sebagai masukan untuk komparator. Komparator akan menentukan respon dari sistem tergantung dari nilai PID yang diterima. Gambar 15 memperlihatkan diagram blok PID pada sistem. Intensitas cahaya yang diterima oleh sensor photodiode akan digunakan sebagai input dari kontrol PID. Proses perhitungan nilai PID dilakukan di mikrokontroler Arduino Uno dengan menggunakan library <PID\_v1.h>. Sensor photodiode juga digunakan sebagai feed back untuk kontrol PID.

Pada kontrol yang digunakan sistem, input PID berupa besar intensitas cahaya yang diterima oleh sensor photodiode, setpoint ditentukan sebesar 500, sedangkan koefisien P,I, dan D dicari dengan cara trial and error. Pada Gambar 16, output PID di set pada nilai -1023 s.d 1023. Setelah output PID diketahui selanjutnya komparator akan memeriksa apakah output PID lebih dari 0 atau tidak. Jika output melebihi 0, servo akan bergerak menyesuaikan arah cahaya matahari sesuai algoritma pelacak matahari. Jika output kurang atau sama dengan 0 maka sudut servo akan ditambahkan sebanyak 5 derajat dari sudut sebelumnya untuk mengurangi nilai intensitas cahaya yang diterima. Selanjutnya servo akan bergerak sesuai dengan nilai sudut tersebut.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Photodiode

Pengujian untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima oleh photodiode dan akan dikonversi oleh ADC pada mikrokontroler Arduino. Besar intensitas cahaya yang

Tabel 4.  
Hasil pengujian besar intensitas cahaya.

Sumber Cahaya (lux)	Ujung Serat Optik (lux)	Efisiensi (%)
19.760	1.203	6,08
20.120	1.478	7,34
25.880	2.082	8,04
26.770	2.192	8,18
29.130	2.358	8,09
51.170	2.874	5,61
86.840	4.437	5,10
59.840	9.128	15,25
66.150	7.082	10,71
41.230	3.925	9,52
54.110	4.304	7,95
33.580	2.260	6,73
34.950	2.436	6,96
37.330	2.725	7,29
38.550	2.837	7,36
41.170	3.029	7,35
36.700	2.859	7,79
148.400	52.610	35,45
157.800	66.990	42,45
164.200	62.830	38,26

diterima diukur dengan mengubah-ubah jarak dari sumber cahaya. Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian photodiode. Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan pada photodiode akan semakin berkurang jika jarak dari sumber cahaya diperbesar. Dari Gambar 17 dapat dilihat grafik hubungan antara besar tegangan photodiode dan jarak sumber cahaya.

#### B. Pengujian Sudut Servo

Pengujian sudut servo dilakukan sebanyak 5 kali. Pengujian dilakukan dengan mengukur sudut servo pada sudut 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, dan 150°. Hasil setiap pengujian yang terukur ditampilkan pada Tabel 2. Dari besar eror sudut servo tersebut dapat dihitung nilai rata-rata eror dari masing-masing sudut yang ditampilkan pada Tabel 3. Nilai rata-rata eror terbesar berada pada sudut 30° dengan rata-rata eror sebesar 42 % dan nilai terkecil pada sudut 150° yaitu sebesar 1,06% dengan rerata eror sudut sebesar 12%.

#### C. Pengujian Arah Cahaya Matahari

Tahap selanjutnya yaitu pengujian alat agar dapat mengikuti arah matahari. Alat diletakkan pada tempat yang terkena cahaya matahari kemudian alat tersebut akan berusaha menyesuaikan arah cahaya matahari. Dari hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 18, didapat bahwa alat akan menyesuaikan ke arah datangnya cahaya matahari sesuai dengan rancangan.

#### D. Pengujian Besar Intensitas Cahaya Matahari

Pengujian selanjutnya yaitu pengukuran besar intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sensor photodiode di *aquascape* dengan cara sensor photodiode yang berada di ujung serat optik diukur intensitas cahayanya dengan menggunakan lux meter, selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran intensitas cahaya pada sumber. Perbandingan besar intensitas tersebut digunakan untuk mengukur efisiensi dari penyaluran cahaya oleh serat optik.

Hasil pengukuran pada pengujian tersebut diukur dengan menggunakan light meter UNI-T UT383 BT seperti pada Gambar 19. Dari data pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4 dapat terlihat nilai efisiensi pengukuran intensitas cahaya tertinggi yaitu pada sumber cahaya 157.800 lux dengan

efisiensi 42,45% dan nilai terendah pada sumber cahaya 86.840 lux dengan efisiensi 5,10% dengan rerata efisiensi sebesar 12,6%.

#### E. Pengujian Penyinaran *Aquascape*

Setelah semua sistem terimplementasi, pengujian selanjutnya yaitu penyinaran pada *aquascape*. *Aquascape* yang digunakan berukuran 31,5 x 18,5 x 24,4 cm. Kolektor surya akan diletakkan di permukaan yang terkena cahaya matahari. Cahaya matahari yang telah ditangkap oleh bagian kolektor surya disalurkan melalui serat optik dan digunakan untuk menerangi *aquascape* seperti yang terlihat pada Gambar 20. Cahaya yang dihasilkan oleh alat mencukupi untuk menerangi sebuah *aquascape*.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat suatu sistem kontrol pencahayaan matahari pada *aquascape*. Sistem ini terdiri dari berbagai komponen seperti lensa Fresnel, serat optik, deret photodiode, sensor photodiode, motor servo, dan mikrokontroler Arduino Uno. Deret photodiode berfungsi untuk membandingkan intensitas cahaya yang diterima dan menggunakannya sebagai data untuk menentukan arah datangnya cahaya matahari. Semakin jauh sumber cahaya maka nilai data keluaran photodiode akan semakin kecil. Data analog tersebut diubah menjadi data digital oleh ADC mikrokontroler Arduino Uno untuk menggerakkan motor servo. Motor servo dapat mengikuti arah cahaya matahari dengan rerata eror sudut sebesar 12%. Cahaya matahari yang ditangkap oleh lensa Fresnel dan disalurkan ke serat optik ke *aquascape*. Serat optik dapat menyalurkan cahaya matahari dengan rerata efisiensi sebesar 12,6%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hariyatno, Isanawikrama, D. Wimpertiwi, and Y. Jhony Kurniawan, "Membaca peluang merakit 'uang' dari hobi *aquascape*," *J. Pengabd. dan Kewirausahaan*, vol. 2, no. 2, pp. 117–125, 2018.
- [2] J. Masojidek, M. Koblizek, and G. Torzillo, *Photosynthesis in Microalgae, Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. USA: Blackwell Science Ltd, 2004.
- [3] Pracaya, *Bertanam Sayuran Organik di Kebun, Pot, & Polibag*. Jakarta: PT Penebar Swadaya, 2007.
- [4] B. Xiong *et al.*, "Variability in CitXET expression and XET activity in Citrus cultivar Huangguogan seedlings with differed degrees of etiolation," *PLoS One*, vol. 12, no. 6, pp. 1–16, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0178973.
- [5] H. Huang, Y. Su, Y. Gao, and S. Riffat, "Design analysis of a Fresnel lens concentrating PV cell," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 165–170, 2011, doi: 10.1093/ijlct/ctr002.
- [6] J. Barry, *A Fishkeeper's Guide to Aquarium Plants: A Superbly Illustrated Guide to Growing Healthy Aquarium Plants, Featuring Over 60 Species*. New York: Tetra Press, 1997.
- [7] E. A. Marchio, "The Art of aquarium keeping communicates science and conservation," *Front. Commun.*, vol. 3, pp. 1–9, 2018, doi: 10.3389/fcomm.2018.00017.
- [8] D. Li, M. Sawhney, R. Kurtz, L. Solomon, and J. Collette, "Impact of the location of a solar cell in relationship to the focal length of a fresnel lens on power production," *Energy and Power*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2014, doi: 10.5923/j.ep.20140401.01.
- [9] P. D. Menghani, R. R. Udawant, A. M. Funde, and S. V. Dingare, "Low pressure steam generation by solar energy with fresnel lens : a review," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 5, pp. 60–63, 2013.
- [10] S. Soeparman, S. Wahyudi, and D. Widhiyanuriyawan, "Potensi Lensa Fresnel sebagai Solar Thermal Concentrator untuk Aplikasi Solar Domestic ( Heating and Solar Cooking )," in *Seminar Nasional Teknologi*, 2015, pp. 252–260.
- [11] R. Leutz and A. Suzuki, *Non Imaging Fresnel Lenses: Design and Performance of Solar Concentrators*. Berlin Heidelberg: Springer-

- Verlag, 2001.
- [12] E. Anggraini Handoyo, I. N. Bisono, and P. Jonathan, "Perancangan dan pengujian lensa fresnel pada kolektor surya plat datar," *J. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 2, pp. 48–56, 2020, doi: 10.9744/jtm.17.2.48-56.
- [13] A. Rambe, "Teknologi Serat Optik," *Jurnal Sist. Tek. Ind. ISSN*, vol. 7, pp. 87–91, 2006.
- [14] K. Fidanboyu and H. Efendioglu, "Fiber Optic Sensors and Their Applications," in *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, 2009, pp. 1–6, doi: 10.3390/books978-3-03936-697-2.
- [15] M. Rodrigues and P. Pinho, "Plastic optical fibers in access networks," *Procedia Technol.*, vol. 17, pp. 601–607, 2014, doi: 10.1016/j.protcy.2014.10.266.
- [16] S. F. Memon, M. M. Ali, J. T. Pembroke, B. S. Chowdhry, and E. Lewis, "Measurement of ultralow level bioethanol concentration for production using evanescent wave based optical fiber sensor," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 67, no. 4, pp. 780–788, 2018, doi: 10.1109/TIM.2017.2761618.
- [17] A. A. Kurniawan, M. Rivai, and F. Budiman, "Sistem pemandu pendaratan pada balon udara berbasis pengolahan citra dan kendali PID," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. A179–A184, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16276.
- [18] P. D. Wijaya, M. Rivai, and T. Tasripan, "Rancang bangun mesin pemotong styrofoam 3 axis menggunakan hot cutting pen dengan kontrol PID," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A693–A698, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.26252.
- [19] M. R. Abu Hatim Kurniawan, "Sistem Stabilisasi Nampan Menggunakan IMU Sensor dan Arduino Nano," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.
- [20] M. S. Ramadhan and M. Rivai, "Sistem Kontrol Tingkat Kekeruhan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.
- [21] A. Hidayanto, M. Rivai, and A. N. Irfansyah, "Sistem Autodocking Mobile Robot Berbasis Suara Untuk Pengisian Ulang Baterai," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.